



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000031903 A**(43) Date of publication of application: **28.01.00**

(51) Int. Cl.

**H04B 10/02****H04B 10/18****G02B 5/30****H04B 3/46**(21) Application number: **10207240**(71) Applicant: **HITACHI LTD**(22) Date of filing: **07.07.98**(72) Inventor: **KIKUCHI NOBUHIKO**

(54) **POLARIZED WAVE DISPERSION  
COMPENSATION SYSTEM AND POLARIZED  
WAVE DISPERSION COMPENSATION METHOD**

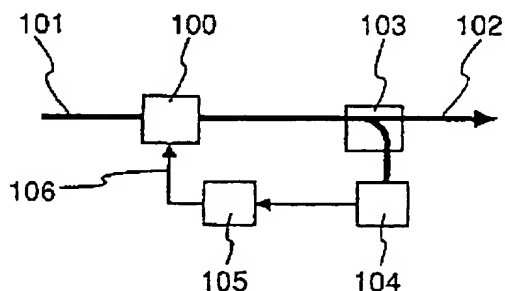
degree of polarization.

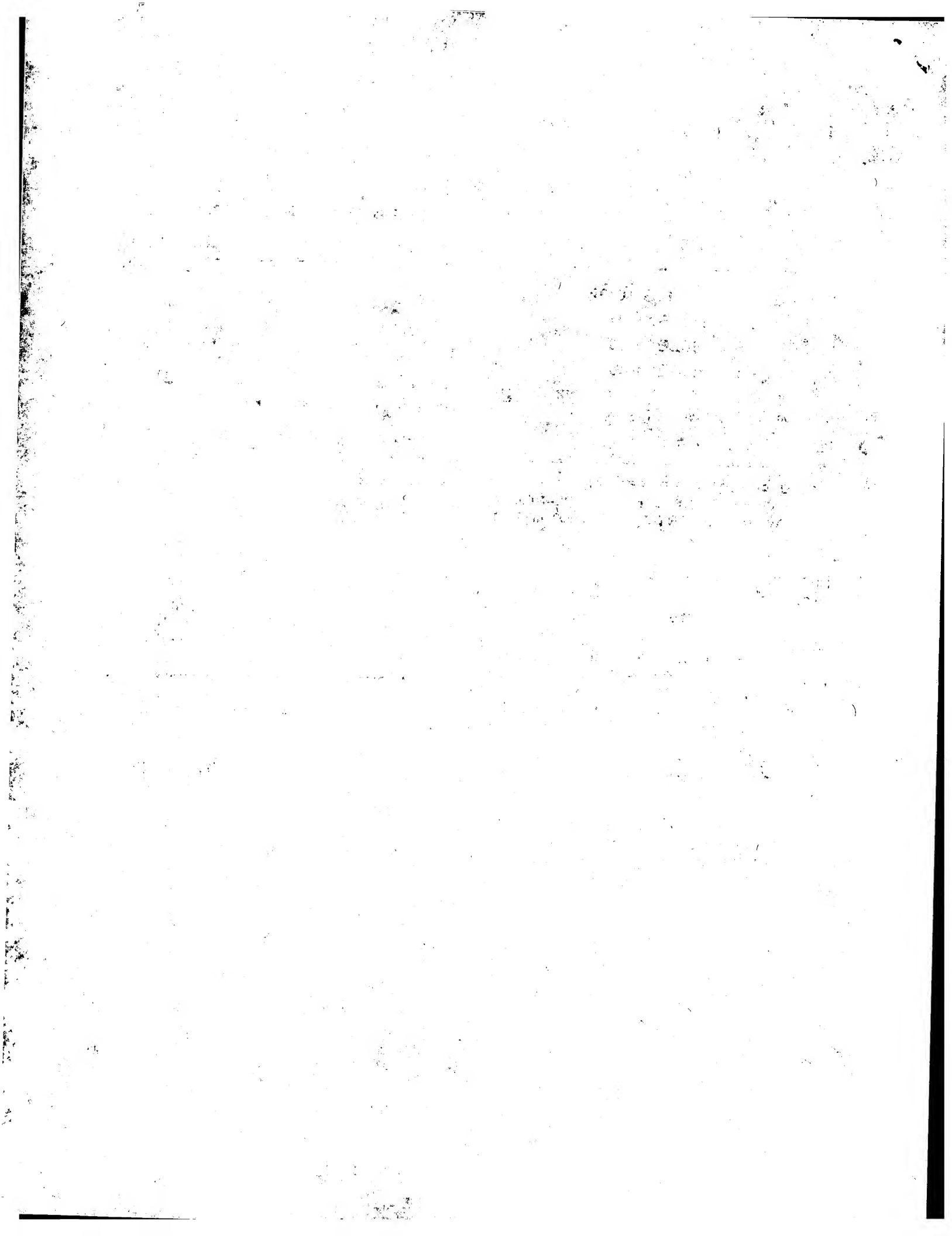
COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the system immune to external disturbance regardless of a simple configuration.

**SOLUTION:** This system is provided with a polarized wave dispersion compensation circuit 100, a degree of polarization detection circuit 104 and a control circuit 105. The polarized wave dispersion compensation circuit 100 receives an optical signal through an optical fiber 101, compensates polarized wave dispersion and provides an output to an optical fiber 102. A photocoupler 103 branches part of the optical signal passing through the optical fiber 102 to the degree of polarization detection circuit 104, which obtains a degree of polarization of the branched optical signal. The control circuit 105 generates a control signal 106 based on the degree of polarization that is obtained by the circuit 104 and controls the polarized wave dispersion compensation circuit 100 to maximize the





(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-31903

(P2000-31903A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 2 H 0 4 9
10/18		G 0 2 B 5/30	5 K 0 0 2
G 0 2 B 5/30		H 0 4 B 3/46	M 5 K 0 4 2
H 0 4 B 3/46			

審査請求 未請求 請求項の数16 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-207240

(22) 出願日 平成10年7月7日 (1998.7.7)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 菊池 信彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100090583

弁理士 田中 清

Fターム (参考) 2H049 BA05 BB06 BC25

5K002 AA03 BA02 BA05 CA01 DA02

DA04 FA01 FA02

5K042 CA10 DA14 EA04

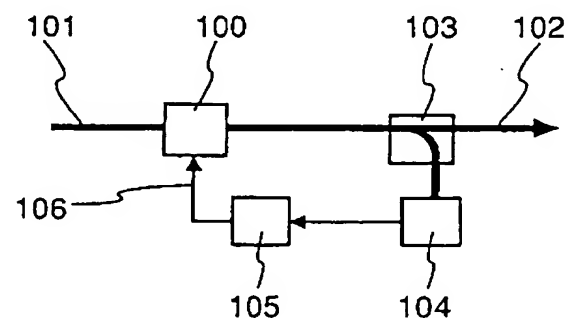
(54) 【発明の名称】 偏波分散補償装置および偏波分散補償方法

(57) 【要約】

【課題】 簡素な構成で外乱に強い偏波分散補償装置および偏波分散補償方法を提供する。

【解決手段】 偏波分散補償装置は、偏波分散補償回路100と偏光度検出回路104と制御回路105とを備える。光信号は、光ファイバ101を介して偏波分散補償回路100に入力され、偏波分散補償を受けたのち光ファイバ102に出力される。光カプラ103は光ファイバ102を通過する光信号の一部を分岐する。偏光度検出回路104は、この分岐された光信号の偏光度を求める。制御回路105は、求めた偏光度に基づいて制御信号106を生成し、これにより偏光度が最大となるように偏波分散補償回路100を制御する。

(図1)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償回路と、前記光信号の偏光度を求める偏光度検出回路と、前記求めた偏光度に基づいて前記偏波分散補償回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とする偏波分散補償装置。

【請求項2】 前記偏波分散補償回路は、光信号の偏波状態を変化させる偏波コントローラと、前記偏波コントローラに接続された偏波分散素子とを備えたことを特徴とする請求項1記載の偏波分散補償装置。

【請求項3】 前記偏波分散素子が偏波保持ファイバであることを特徴とする請求項2記載の偏波分散補償装置。

【請求項4】 前記偏光度検出回路は、光信号の偏波状態を検出する偏波状態アナライザと、前記偏波状態アナライザにより得られた偏波情報を用いて偏光度を算出する偏光度算出回路とを備えたことを特徴とする請求項1記載の偏波分散補償装置。

【請求項5】 前記偏光度検出回路は、光信号の偏波状態を変化させる偏波コントローラと、前記偏波コントローラに接続された偏波依存素子と、前記偏波依存素子の出力を用いて偏光度を算出する信号処理回路とを備えたことを特徴とする請求項1記載の偏波分散補償装置。

【請求項6】 前記偏波分散補償回路の前段に補償対象となる光信号を透過帯域に含む光バンドパスフィルタを備えたことを特徴とする請求項1記載の偏波分散補償装置。

【請求項7】 光伝送路に伝送される光信号の偏光度を求め、前記偏光度を用いて前記光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償することを特徴とする偏波分散補償方法。

【請求項8】 前記光信号の偏光度が最大となるように前記光信号を補償するようにしたことを特徴とする請求項7記載の偏波分散補償方法。

【請求項9】 前記光信号にあらかじめ振幅、位相、周波数、偏波および符号の少なくとも一つの変調情報を施し、前記変調情報を用いて前記偏光度を求めることを特徴とする請求項7記載の偏波分散補償方法。

【請求項10】 光ファイバを用いて複数の光伝送装置間を接続した光ファイバ通信システムにおいて、前記複数の光伝送装置のうち少なくとも一つは、前記光ファイバに伝送される光信号の偏光度を用いて偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置を備えたことを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項11】 複数の第1の光伝送装置と、前記複数の第1の光伝送装置に一端が接続された第1の波長多重光伝送装置と、複数の第2の光伝送装置と、前記複数の第2の光伝送装置に一端が接続された第2の波長多重光伝送装置と、前記第1の波長多重光伝送装置の他端と第2の波長多重光伝送装置の他端間を接続する光伝送路と

から構成された波長多重伝送システムにおいて、前記複数の第1および第2の光伝送装置のうち少なくとも一つは、前記光伝送路に伝送される光信号の偏光度を用いて偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置を備えたことを特徴とする波長多重伝送システム。

【請求項12】 光伝送路に接続された光受信機と、前記光受信機の前段に設けられ前記光伝送路に伝送される光信号の偏光度を用いて偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置とを備えたことを特徴とする光伝送装置。

【請求項13】 前記偏波分散補償装置は、光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償回路と、前記光信号の偏光度を求める偏光度検出回路と、前記求めた偏光度に基づいて前記偏波分散補償回路を制御する制御回路を備えたことを特徴とする請求項12記載の光伝送装置。

【請求項14】 前記偏波分散補償回路の入力側に光バンドパスフィルタを備えたことを特徴とする請求項13記載の光伝送装置。

【請求項15】 光信号を電気信号に変換する光伝送路に接続された光・電気変換器と、前記光信号より求めた偏光度に基づいて光伝送路の偏波分散による前記電気信号の波形歪みを補償する偏波分散補償回路とを備えたことを特徴とする光受信機。

【請求項16】 前記偏波分散補償回路が電気トランスバーサルフィルタを用いて構成されることを特徴とする請求項15記載の光受信機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置および偏波分散補償方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信網の構築が進展するなかで、さらなる伝送の高速化が求められている。伝送の高速化については種々検討が行われているが、この高速化を阻む要因の一つとして、光伝送路の偏波分散が問題となっている。偏波分散(PMD; Polarization Mode Dispersion)とは、伝送路に用いられる光ファイバや光デバイスが偏波依存性を持つ場合に、主軸となる2つの偏波モード間の伝搬時間が異なる現象である。両者の伝搬時間差 $\Delta T$ が伝送路の偏波分散量である。受信される光信号の波形は2つの波形の和として観測されるため、歪んだ波形となってしまう。これにより、受信波形のアイパターンも大きく歪み、伝送不能となったり受信感度等の伝送特性の劣化が起ったりして大きな問題となる。伝送路の偏波主軸や偏波分散の量は、光ファイバにかかる圧力や振動、あるいは温度などによって変化するため、偏波分散による劣化の量は

時々刻々変化することになる。

【0003】従来より、偏波分散対策としていくつかの補償手法が提案されている。たとえば、「時間的変動を伴う光伝送路偏波分散の補償」、1994年電子情報通信学会春季大会、B-1010、4-76頁には、偏波分散の光学的補償手法が提案されている。この手法は、偏波分散により劣化した光信号を偏波分散補償回路を介して光受信機で受信するものである。ここで偏波分散補償回路は、偏波制御光回路および偏波分散補償用偏波保持ファイバを備え、この偏波制御光回路によって光信号の偏波状態をコントロールし、偏波分散補償用偏波保持ファイバへの入射状態を変えることによって、伝送中に受けた偏波分散による光信号の波形歪みを打ち消すようにしている。

【0004】この偏波分散補償回路の制御は次のようにして行われる。まず、偏波分散補償回路からの出力光の一部が光カプラによって分岐され、光・電気(O/E)変換器によって電気信号に変換されたのち、周波数検出器(中心周波数 $R_b/2$ 、 $R_b$ は伝送信号のビットレート)によって信号スペクトル中の周波数 $R_b/2$ 成分の大きさが観測される。そして、最大値制御回路によって前記周波数検出器の出力信号が最大となるように、偏波制御光回路の状態を制御する。信号スペクトル中の周波数 $R_b/2$ の成分の大きさは、信号波形が偏波分散によって劣化しアイ開口が小さくなるにつれて小さくなるため、このようなフィードバック系を構成することにより、常に受信される光信号の偏波分散による劣化量が最小となるように補償を行うことが可能となる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の偏波分散補償方式には、その実施にあたりいくつかの問題点が存在する。例えば従来は、O/E変換器や周波数検出器など、伝送信号と同程度の高速信号を処理する光・電気回路が必要となり、コスト面および装置構成の面で不利となる。とくにO/E変換器は、伝送ビットレート(>Gb/s)オーダーの帯域が必要となるため、ビットレートが高速になるほど入力感度が低下する。このため入力光パワーや光カプラの分岐比を高める必要があり、コスト高や損失増などの問題を引き起こす。また、これらの部品は伝送される光信号のビットレートに依存するため、異なるビットレートの光信号間で補償回路や部品を共用することができなくなる。

【0006】また、制御量として用いる周波数 $R_b/2$ の成分の強度は、分散など他の要因による波形劣化や伝送されるビットパターンのマーク率などによって変化するため、外乱の影響を受けやすいという問題点がある。さらに、伝送路の偏波分散量がビット幅に近くなると、波形の歪みが大きくなり過ぎ、周波数 $R_b/2$ の成分の強度が偏波分散量に対応しなくなるため、フィードバック制御が働かなくなるという問題もある。

【0007】従って本発明の目的は、簡素な構成で外乱に強い偏波分散補償装置および偏波分散補償方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的は、光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償回路と、光信号の偏光度を求める偏光度検出回路と、求めた偏光度に基づいて偏波分散補償回路を制御する制御回路とを備えた偏波分散補償装置により、達成される。ここで偏光度とは、偏光度およびその他の偏光の度合いを表す物理量を含む概念として用いる。

【0009】具体的には例えば、偏波分散補償回路は、光信号の偏波状態を変化させる偏波コントローラと、偏波コントローラに接続された偏波分散素子とを備えて構成される。偏波分散素子としては、偏波保持ファイバを用いることができる。また、偏光度検出回路は、光信号の偏波状態を検出する偏波状態アナライザと、偏波状態アナライザにより得られた偏波情報を用いて偏光度を算出する偏光度算出回路とから構成することができるが、別の構成法として、光信号の偏波状態を変化させる偏波コントローラと、偏波コントローラに接続された偏波依存素子と、偏波依存素子の出力を用いて偏光度を算出する信号処理回路とを用いて構成してもよい。また偏波分散補償回路の前段には、補償対象となる光信号を透過帯域に含む光バンドパスフィルタを設けるとよい。

【0010】本発明に係る偏波分散補償方法は、光伝送路に伝送される光信号の偏光度を求め、この偏光度を用いて光伝送路で受けた偏波分散による光信号の波形歪みを補償するものである。この場合、光信号の偏光度が最大となるように光信号を補償するようにする。さらに、光信号にあらかじめ振幅、位相、周波数、偏波、および符号の少なくとも一つの変調情報を施し、この変調情報を用いて偏光度を求めることもできる。

【0011】本発明に係る光ファイバ通信システムは、複数の光伝送装置間が光ファイバを用いて接続されており、この複数の光伝送装置のうち少なくとも一つに、光信号の偏光度を用いて偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置を備えている。また本発明は同様に、波長多重伝送システムにも適用することができる。ここで用いる光伝送装置は、光伝送路に接続された光受信機と、光受信機の前段に設けられ光信号の偏光度を用いて偏波分散による光信号の波形歪みを補償する偏波分散補償装置とを備えて構成される。これにより本発明は、簡素な構成で外乱に強い偏波分散補償装置および偏波分散補償方法を得ることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】図1は、本発明に係る偏波分散補償装置の第1の実施例を示す図である。図のように、本実施例では、偏波分散補償回路100と偏光度検出回路104と制御回路105とを備える。光信号は入力光フ

ファイバ101を介して偏波分散補償回路100に入力され、偏波分散補償を受けた出力光ファイバ102に出力される。出力光ファイバ102を通過する光信号の一部は光カプラ103で分岐され、偏光度検出回路104に入力される。偏光度検出回路104は、分岐された光信号の偏光度を求める。制御回路105は、求められた偏光度から制御信号106を生成し、これにより偏光度が最大となるように偏波分散補償回路100を制御する。ここで、偏波分散補償回路100は通常複数の制御パラメータ（例えば2変数の偏波状態と偏波分散量など）を必要とするため、制御信号106は必ずしも単一の電気信号ではない。このように制御することにより、伝送路の偏波状態や偏波分散量に変化しても常に最適の補償状態を維持することが可能となる。なお、偏波分散補償回路100および偏光度検出回路104の具体的な構成例については後述する。

【0013】このように偏光度を用いて偏波分散補償を行うことができるのは、その値が受信特性の劣化量に対応しているからである。この点について以下説明する。図2(a)、(b)は偏波分散がない場合の、また同図(c)、(d)は偏波分散がある場合の光信号の波形状態および偏波状態をそれぞれ示す図である。図において縦軸および横軸は、それぞれ伝送路の2つの主軸(TE/TM)を模式的に示している。伝送路の偏波分散がない場合は、図2(a)に示すように、光信号のパワーは伝送路の2つの主軸にほぼ1:1に分かれて伝送されるため、互いに波形ずれが生じることなく、両者を合成した偏波状態は、図2(b)に示すように、単一に保たれる。これに対して、伝送路の偏波分散がある場合は、図2(c)に示すように、偏波分散 $\Delta T$ によってビットずれが生じるため、3つの時刻 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ において光信号の偏波状態が異なるものとなる。例えば時刻 $t_1$ 、 $t_2$ では、図2(d)に示すように、それぞれTE、TMの一方の光信号しか存在せず、時刻 $t_0$ とは異なった偏波状態となる。したがって偏波分散がある場合は、純粋な単一偏波の光信号ではなく偏光度(degree of polarization)の低下が生じる。図2では両者が合成されて直線偏波となる例を示しているが、楕円偏波となる場合でも同様の偏光度劣化が生じる。また、実際の光信号ではビット内の光の位相は一定ではないが、その場合でも偏波分散による偏光度劣化が発生する。

【0014】図3は、偏波分散を受けた光信号の誤り率と偏光度の関係を導出するのに用いた系の構成を示す図である。また図4(a)、(b)は、図3の系を用いて得た偏波分散を受けた光信号の誤り率と偏光度の関係を示す図である。図3において、光送信機130はビットレート10Gb/sで強度変調された単一偏波の光信号を送出している。偏波コントローラ(PC)131は、偏波分散を持つ偏波保持ファイバ132に入力され

る光信号の偏波状態を変化させる。光カプラ133は、受信機135に出力される光信号の一部を分岐する。そして偏光度検出器134で、この分岐された光信号の偏光度を測定する。ここでは、偏光度検出器134の出力である偏光度と、受信機135で観測される符号誤り率を計算した。

【0015】図4(a)は、図3の偏波保持ファイバ132の2つの主軸に1:1のパワー比で分配されるように光信号を入射させ、偏波保持ファイバ132の偏波分散量を変化させたときの結果を示す図である。本図に示すとおり、偏波分散(PMD)が0の場合に偏光度が最大で誤り率が最小となり、偏波分散の増加とともに誤り率が劣化し偏光度が低下していることがわかる。また、PMD量が伝送信号のビット幅である100psを越えた場合にも、偏光度は誤り率に正しく対応していることがわかる。一方、図4(b)は、PMD量を60psに固定し、偏波保持ファイバ132に入力する光信号の偏波面の入射角を変化させたときの結果を示すものである。この場合も、偏光度と誤り率の対応が成立しており、例えば偏光度が最大となるように制御することによって、偏波分散による劣化を最小に保つことができることがわかる。

【0016】上記計算例ではNRZ方式の伝送を仮定しているが、他の符号化方式や変調方式にも適用可能である。例えば、RZ方式やデュオバイナリ、マンチェスターあるいは多値符号などの符号化方式、レーザーの直接変調や外部変調器などにも適用可能である。また、伝送されるビット間でビットごとの位相や偏波状態、光周波数などが変調されていれば、原理的に偏波分散による偏光度の劣化が生じるため、強度変調以外の変調方式にも適用可能である。

【0017】図5は、本発明に係る偏波分散補償装置の第2の実施例を示す図である。本実施例では、図のように、光受信機(Rx)121が入力光ファイバ101に接続されている。光受信機121は、入力光ファイバ101からの光信号を電気信号に変換する光・電気(O/E)変換器120と、それに接続された偏波分散補償回路100とを有する。一方、入力光ファイバ101には光カプラ103が設けられており、これにより分岐された光信号の偏光度が偏光度検出回路104で求められる。制御回路105は、偏光度検出器104で得られた偏光度情報を用いて、偏波分散補償回路100を制御する。ここで、偏波分散補償回路100は、例えば可変の電気トランスバーサルフィルタなどを使用することができ

【0018】図6は、本発明に係る偏波分散補償装置の第3の実施例を示す図である。本実施例は、図1に示す第1の実施例の偏波分散補償回路100を偏波コントローラ131と可変偏波分散素子136で構成したものである。ここで制御回路105は偏光度検出器104で得

られた偏光度情報を用いて、制御信号106-1により偏波コントローラ131を制御し、また制御信号106-2により可変偏波分散素子136を制御する。これにより本実施例では、偏波分散の補償量と補償回路に入力される偏波状態の両パラメータを独立に制御できるため、伝送路の偏波分散が大きい場合にもほぼ完全な補償効果を得ることができる。

【0019】図7は、第3の実施例で用いる可変偏波分散素子136の一構成例を示す図である。本例では、図のように、入力光140を偏波ビームスプリッタ142の2つの主軸TE/TMの成分に分解し、それぞれ可動ミラー144と固定ミラー143で反射させたのち、再び偏波ビームスプリッタ142で合成し、出力光141として出力するように構成している。本構成例では、可動ビームスプリッタ144と偏波ビームスプリッタ142の距離を可変にすることで、偏波分散量を可変とすることができる。これ以外の構成の可変偏波分散素子でも、基本的に本方式に適用可能である。

【0020】また偏波コントローラ131としては、波長板を回転させる構成、ファイバ圧縮や液晶による可変波長板を用いた構成、電気光学効果を用いたものなど多くの方式が知られているが、原理的にはどの方式も適用可能である。

【0021】図8は、本発明に係る偏波分散補償装置の第4の実施例を示す図である。本実施例では、偏波分散補償回路100を偏波コントローラ(PC)131と偏波保持ファイバ132で構成し、偏波分散補償回路100の前段および後段にそれぞれ光カプラ103-1、103-2を設けている。ここで偏波保持ファイバ132の持つ偏波分散量は、一般には可変とすることはできず、部分的な補償しかできないが、前記実施例にくらべ、構成を単純化することが可能となる。また本実施例では、入力光ファイバ101の光信号の一部を光カプラ103-1で分岐し、光検出器150-1により入力光強度をモニタしている。これにより、光信号が一定値以下の場合に制御回路105の動作停止などを行うことが可能である。

【0022】また本実施例は、偏光度検出回路104に偏波状態アナライザを使用した例を示している。偏波状態アナライザは、光信号を分岐するビームスプリッタ151、1/4波長板152、検光子153および光検出器150-2を組み合わせた光回路である。ここで各光検出器150-2は、それぞれ光信号の偏波情報の一部を検出している。偏光度算出回路154は、これらの情報と光検出器150-1から得られる全光強度情報を用いて偏光度を算出し、制御回路105に出力する。この偏波状態アナライザの構成は一例を示すものであり、偏光度もしくはそれに等価な情報を検出する回路であれば他の形式の光回路を使用することも可能である。

【0023】図9は、本発明に係る偏波分散補償装置の

第5の実施例を示す図である。本実施例は、偏光度検出回路104を先の第4の実施例とは別構成としたものである。本実施例の偏光度検出回路104は、偏波コントローラ(PC)131-2、偏波依存素子である偏波ビームスプリッタ142、および光検出器150-2、150-3から構成される。図のように、偏波分散補償回路100の出力光の一部は光カプラ103-2で分岐されたのち、偏波コントローラ131-2を通過し偏波ビームスプリッタ142でTE/TM成分に分離される。そして、それぞれの光強度は光検出器150-2、150-3によって検出される。信号処理回路155は、これらの情報を用いて偏波コントローラ131-2の制御および偏光度算出処理を行う。例えば、TE成分の光をモニタする光検出器150-2の出力が最大となるように、制御信号156を用いて偏波コントローラ131-2を制御する。このとき、光検出器150-3から得られる信号が光信号の偏光度に対応することになる。例えば、光信号の偏光度が高い場合には、ほとんどの光が偏波ビームスプリッタ142のTE方向に変換され、TM成分量が減少し光検出器150-3の出力が低下する。したがって、この出力が最小となるように偏波分散補償回路100を制御することにより、偏波分散による劣化を最小に抑えることができるようになる。

【0024】これ以外にも、例えば、光検出器150-2の出力自体も制御に使用することができる。また、これらの信号と検光子150-1の出力の比を制御に用いることで、入力光強度に依存しない制御を行うことが可能である。さらに、偏波依存素子としては偏波ビームスプリッタ142に限らず、例えば検光子などのように偏波状態に対応して損失や利得が変わる素子であれば、広く適用可能である。なお、本実施例が正しく動作するようにするためには、偏波コントローラ131-2の制御の時定数を、偏波コントローラ131-1の時定数より十分早く設定するなどして、両制御動作を分離するのが望ましい。

【0025】図10は、本発明に係る偏波分散補償装置の第6の実施例を示す図である。本実施例では、偏波分散補償回路100の入力部に光バンドパスフィルタ157を設けている。その理由は次のとおりである。即ち、光信号の偏光度は偏波分散以外のパラメータによっても影響を受けるため、その影響を最小限にとどめることが必要となる。例えば、光ファイバ伝送に広く用いられる光アンプから放出される自然放出光は無偏光であるため、その量が増加すると信号光の偏光度が低下し本発明の制御回路の動作に影響を与える可能性がある。そこで、光バンドパスフィルタ157を設けることにより、補償の対象となる光信号から広帯域の自然放出光を除去し、これにより高精度の偏光度測定を可能とする。光バンドパスフィルタを挿入する場所は、偏光度検出回路104より手前であれば、本実施例以外の場所に配置して



も有効である。

【0026】図11は、本発明に係る偏波分散補償装置の第7の実施例を示す図である。本実施例では、光信号に重畳された変調成分を利用して偏光度検出を行う。そこで、光信号に周波数 $f$ で小振幅の振幅変調が施されているものと仮定し、偏光度検出回路104の出力から周波数 $f$ の成分をバンドパスフィルタ158で抽出する。制御回路105は、その強度情報を元に制御信号106にて偏波分散補償回路100の制御を行う。このような操作により、光ファイバアンプの自然放光などの外乱成分と信号成分を分離し、偏光度を正確に測定することが可能となる。識別の手段としては、バンドパスフィルタ158以外にも、偏光度検出回路104で同期検波を行うなどの手法も適用可能である。また伝送信号の振幅変調以外にも、位相、周波数、偏波あるいは符号などの変調方法が適用可能である。またSBS（誘導ブリュアン散乱）抑圧に用いられる光源のFM変調成分を共用することも可能であるし、SONET/SDHなどのフレーム周波数成分の強度や、フレーム中の特定のパターンに同期した検波などを用いることも可能である。

【0027】図12は、本発明に係る偏波分散補償装置を適用した光ファイバ通信システムの一実施例を示す図である。図のように、本実施例では、光伝送装置160-1と160-2間が上り下りの2つの光ファイバ伝送路162で結合されている。各光ファイバ伝送路162には、光アンプ163および光中継器164がそれぞれ設置されている。各光伝送装置160-1、160-2は、光送信機(Tx)161と、光受信機(Rx)166とをそれぞれ備える。各光受信機166の直前には、本発明に係る偏波分散補償装置165がそれぞれ配置されている。このように、偏波分散補償装置165を光受信機直前に配置することにより伝送路全体の偏波分散補償が可能であるが、偏波分散補償装置165の位置や数は本実施例と同じとする必要はなく、例えば特に偏波分散の大きいことが分かっている光ファイバ伝送路や光素子の直後の光伝送装置にのみ、または上り下り片方の回線にのみ配置することも有効である。

【0028】図13は、本発明に係る偏波分散補償装置を適用した光波長多重伝送システムを示す図である。図のように、本実施例では、波長多重光伝送装置167-1と167-2間が上り下りの2つの光ファイバ伝送路162で結合されている。各光ファイバ伝送路162には、光アンプ163および光中継器164がそれぞれ設置されている。各波長多重光伝送装置167-1、167-2は、それぞれ波長合分波器168を備える。波長多重光伝送装置167-1には、光伝送装置160-1と160-2が接続され、波長多重光伝送装置167-2には、光伝送装置160-3と160-4が接続されている。各光伝送装置は、光送信機(Tx)161と、光受信機(Rx)166とをそれぞれ備える。そして、

各受信機166の直前には偏波分散補償装置165が配置されている。一般には、本実施例のように、各光信号ごとにひとつの偏波分散補償装置165を用いる必要があるが、光信号の波長間隔が狭く偏波状態を合致させて送信する場合などには偏波分散補償装置を共用することも可能である。偏波分散補償装置165の位置や数は、上述したように、本実施例と同じとする必要はない。

【0029】以上のように本発明では、伝送される光信号の偏光度情報を用いて偏波分散補償回路の制御を行うことによって、高速信号を処理する光・電気回路が不要となり、コストを低減し偏波分散補償装置の構成を簡素化できるという効果がある。偏光度検出回路の帯域はビットレートに比べ十分小さくでき、高感度な検出回路が構成できるので、光カプラの分岐比を小さくし、主信号系の損失を低減することが可能となる。また偏光度は光パワーに依存しないため、原理的に測定ダイナミックレンジが広く、主信号系の設計に影響を与えにくいという効果がある。また本発明では、主信号のビットレート、RZ/NRZなどの変調フォーマット、変調器の種類／変調方法に無依存に偏波分散による劣化量を知ることができるため、部品の共通化や低コスト化の面で有利となる。また波形変化やビットパターンのマーク率変動などの影響も小さく、外乱に強いという特徴がある。さらに偏波分散量が伝送信号のビット幅を越えた場合にも正しい制御信号が得られるため、大きな偏波分散の補償が可能となる効果がある。

【0030】偏波分散補償回路の制御方法は、例えば偏光度が最大となるように適応制御を行うことによって実現可能であり、伝送路の偏波分散量や偏波状態の変化に対応した適応補償が可能となる。また、偏光度検出回路として偏波状態アナライザを用いることにより、高速に偏光度を測定することが可能となり、小型／簡素な検出回路を実現することができる。また偏光度は例えば、偏波コントローラと検光子などの偏波依存素子を組み合わせた光回路によっても測定することが可能であり、検出部をさらに小型／簡素にすることができる。

【0031】また偏波分散補償回路は、例えば偏波コントローラおよび可変の偏波分散素子を用いることによって偏波分散による劣化がほぼゼロとなるような理想的な補償が可能となる。また可変偏波分散素子の可変量を大きくすることでビット長を越えるような大きな偏波分散の補償を行うことも可能である。また固定偏波分散素子として偏波保持ファイバを用いた場合、とくに構成が簡素化できるという利点がある。

【0032】また補償対象となる光信号を透過帯域に含む光バンドパスフィルタを用いることにより、さらにあらかじめ光信号に施された振幅、位相、周波数、偏波あるいは符号などの変調情報を用いることにより、外乱の影響を排除し偏光度を高精度に求めることが可能となるという効果がある。本発明に係る偏波分散補償装置を光



伝送装置、波長多重伝送装置、光ファイバ通信システム、もしくは波長多重伝送システムに適用することにより、伝送距離や適用範囲を大きく拡大できるという効果がある。

### 【0033】

【発明の効果】本発明によれば、簡素な構成で外乱に強い偏波分散補償装置および偏波分散補償方法を得ることができる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る偏波分散補償装置の第1の実施例を示す図である。

【図2】(a)～(d)は偏波分散のない場合とある場合の光信号の波形状態および偏波状態をそれぞれ示す図である。

【図3】偏波分散を受けた光信号の誤り率と偏光度の関係を導出するのに用いた系の構成を示す図である。

【図4】(a)、(b)はそれぞれ偏波分散を受けた光信号の誤り率と偏光度の関係を示す図である。

【図5】本発明に係る偏波分散補償装置の第2の実施例を示す図である。

【図6】本発明に係る偏波分散補償装置の第3の実施例を示す図である。

【図7】可変偏波分散素子の一構成例を示す図である。

【図8】本発明に係る偏波分散補償装置の第4の実施例を示す図である。

【図9】本発明に係る偏波分散補償装置の第5の実施例を示す図である。

【図10】本発明に係る偏波分散補償装置の第6の実施例を示す図である。

【図11】本発明に係る偏波分散補償装置の第7の実施例を示す図である。

【図12】本発明に係る偏波分散補償装置を適用した光ファイバ通信システムの一実施例を示す図である。

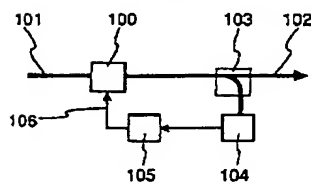
【図13】本発明に係る偏波分散補償装置を適用した光波長多重伝送システムを示す図である。

### 【符号の説明】

- 100 偏波分散補償回路
- 101 入力光ファイバ
- 102 出力光ファイバ
- 103 光カプラ
- 104 偏光度検出回路
- 105 制御回路
- 106 制御信号

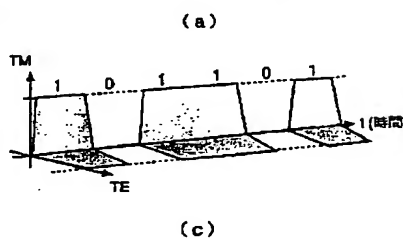
【図1】

(図1)



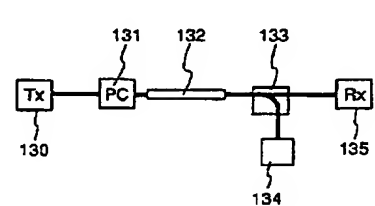
【図2】

(図2)



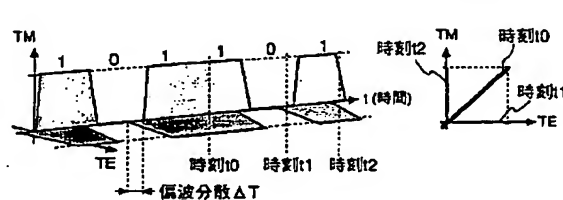
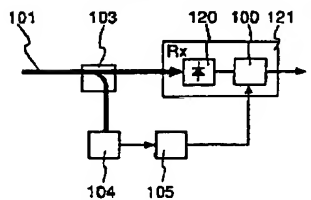
【図3】

(図3)



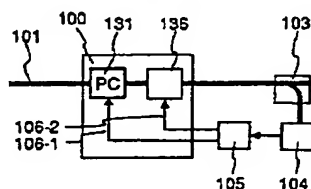
【図5】

(図5)



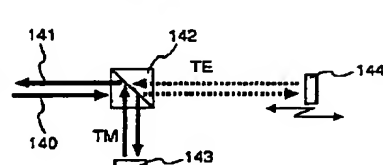
【図6】

(図6)



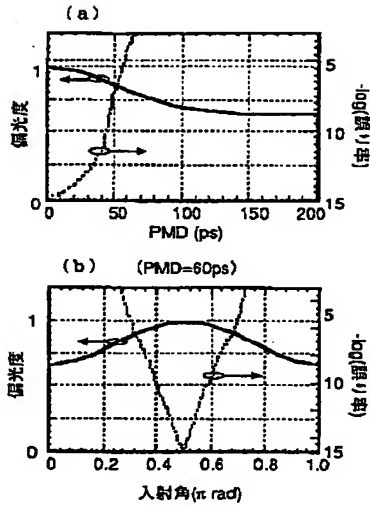
【図7】

(図7)



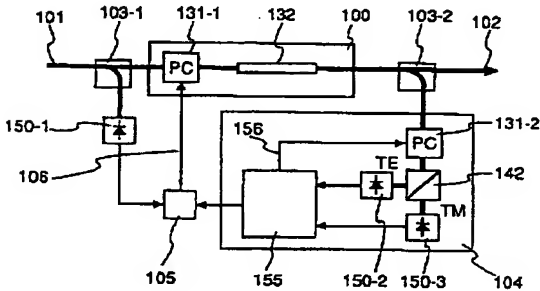
【図4】

(図4)



【図9】

(図9)

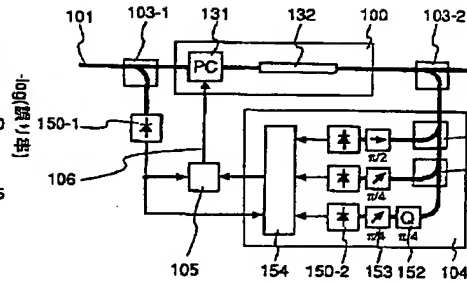


【図12】

(図12)

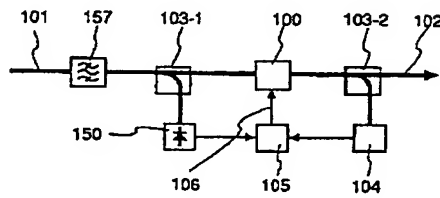
【図8】

(図8)



【図10】

(図10)



【図13】

(図13)

【図11】

(図11)

